

MEDIÇÃO DA FORÇA DE EXTRACÇÃO EM MOLDES DE INJECCÃO DE TERMOPLÁSTICOS

Pontes, A.J.* , Pinho, A.M.** e Pouzada, A.S.*

*Departamento de Engenharia de Polímeros

**Departamento de Engenharia Mecânica

Universidade do Minho, 4810 Guimarães



RESUMO

O método da extensometria eléctrica foi usado na concepção de uma célula de carga aplicada num molde de injeccão para medir forças de extracção das moldações. A solução adoptada minimizou as alterações a efectuar no molde, satisfez as limitações de espaço, e de acesso.

O sistema permitiu estudar o efeito dos parâmetros de processamento (temperatura de injeccão, segunda pressão e tempo de arrefecimento) nas forças de extracção, tendo-se verificado que a sensibilidade da célula respondeu às solicitações requeridas.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos vinte anos, a aplicação de materiais termoplásticos em Engenharia conheceu um crescimento impressionante, não só devido à disponibilidade de novos materiais de características superiores, mas, também, à capacidade de se desenvolverem ferramentas - moldes - de elevada complexidade mecânica e capazes de produzir com precisão peças técnicas geometricamente complexas.

Devido ao carácter macromolecular, durante os processos de transformação que envolvam mudança de estado físico, como a moldação por injeccão, os termoplásticos provocam nas peças variações dimensionais em relação às das ferramentas para a sua obtenção. Esta variação, a contracção, é muito dependente

da complexa história termomecânica do processo. No caso dos materiais molecularmente organizados (materiais semi-cristalinos) a contracção assume valores tipicamente entre 1 e 2%, enquanto que nos restantes (materiais amorfos) esse valor pode variar entre 0,3 e 0,8%, consoante as condições de processamento (p.ex., [Isayev, 1987]).

Para além dos problemas de controlo dimensional associados, a contracção suscita problemas de desmoldação nas peças com alguma profundidade (p.ex., caixas, acessórios de tubagem). Nestes casos, é necessário prever dispositivos mecânicos que permitam fazer a extracção das moldações. Tais dispositivos podem ser pneumáticos, hidráulicos ou, simplesmente, pares cinemáticos associados ao movimento de abertura e fecho do molde

de injeção [Menges e Mohren, 1986; Pye, 1989].

Quando as peças são fundas, o valor das forças envolvidas na extracção pode ser importante, o que implica a sua previsão com vista à especificação dos dispositivos necessários.

A força de extracção de uma peça com geometria circular, por exemplo, depende das dimensões da própria peça, das características intrínsecas do molde (rugosidade) e do próprio material (coeficiente de atrito, contracção). Estudos neste domínio têm sido feitos com diversos materiais e geometrias de peças (p.ex, [Menges e Bangert, 1981; Malloy e Majeski, 1989; Burke e Malloy, 1991]. Uma equação que relacione estas características para o caso de uma peça tubular terá o seguinte aspecto

$$F_E = 2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot E \cdot K \cdot t \cdot L$$

em que

μ - coeficiente de atrito

E - módulo de elasticidade à temperatura de extracção

K - contracção do material à temperatura de extracção

t - espessura da peça

L - comprimento da peça a extrair

O problema maior na aplicação desta expressão reside na definição dos valores do coeficiente de atrito, μ , e da contracção, K .

As células de carga baseadas no método experimental da extensometria são de grande precisão e, quando projectadas com algum cuidado, podem ser compactas, assim como ocupar espaços de difícil acesso.

Nesta publicação apresentar-se-á a solução utilizada para a medição de forças de extracção de uma peça tubular num molde experimental. Este estudo enquadra-se num programa em que também se faz a avaliação da contracção de um polímero de engenharia amorfo (PPE modificado).

2. CONCEPÇÃO DA CÉLULA

O molde cuja instrumentação se fez no âmbito deste trabalho permite a moldação de um tubo com 1 mm de espessura. Este tubo é injectado a meio do seu comprimento. Para a extracção existe uma bucha móvel, a todo o comprimento do tubo, actuada hidraulicamente.

A célula de carga para a medição da força de extracção foi projectada para montagem no sistema de actuação da bucha (Figura 1)

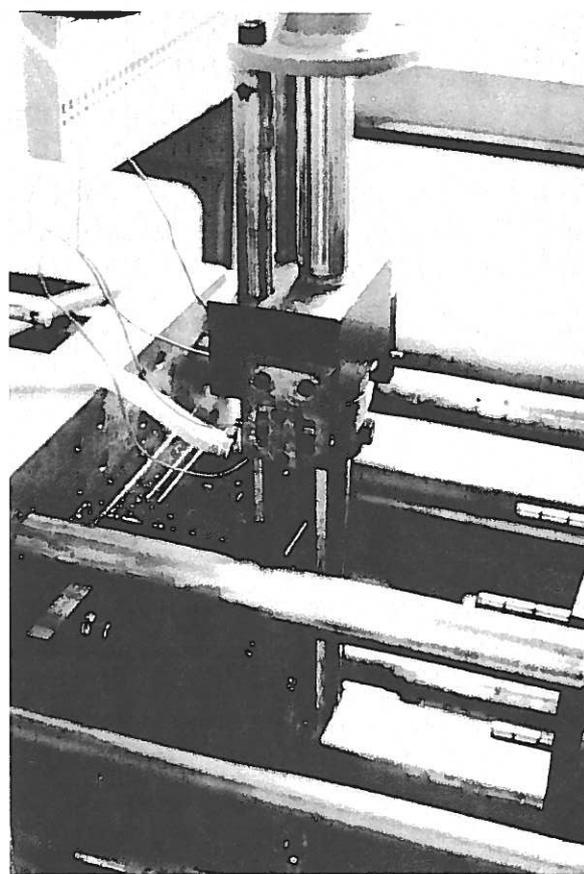
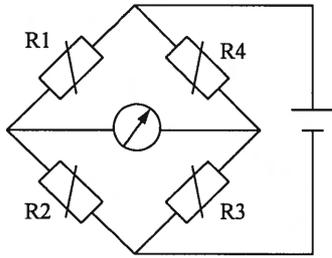


Fig. 1- Montagem experimental

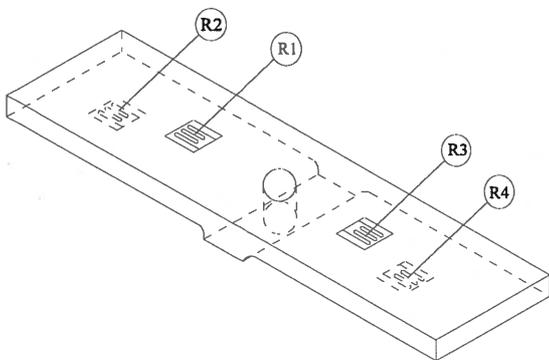
2.1 Princípio de funcionamento

Para a construção da célula de carga utilizou-se a técnica da extensometria eléctrica. As células de carga são muito utilizadas na medição de forças em trabalhos de investigação (equipamentos de ensaio de

materiais) e na indústria (p.ex., balanças e básculas electrónicas de pesagem). Na sua construção utilizam-se normalmente extensómetros eléctricos (Juvinal, 1967). A célula de carga implementada funciona em ponte de Wheatstone completa (Figura 2).



a)



b)

Fig. 2- Ponte de Wheatstone utilizada.

a) Esquema do circuito eléctrico; b) Implementação dos quatro extensómetros na barra-célula

1.1 Projecto e Fabrico

Uma célula de carga tem de ser construída com precisão e padrões de qualidade muito elevados [Timoshenko, 1990]. No projecto e construção da célula de carga foram considerados os seguintes aspectos:

- utilização de material de elevada resistência, boa estabilidade térmica e dimensional.
- utilização de extensómetros de grande precisão e adequados ao fim em vista.
- observação rigorosa das normas de colagem

- alinhamento rigoroso dos extensómetros.
- utilização de sistemas adequados de fixação, protecção e aplicação de cargas.

Para minimizar as alterações a efectuar no sistema de guiamento e na bucha móvel, do molde de injeção, projectou-se a célula por forma a trabalhar à flexão, configuração que facilita a concretização da ponte de Wheatstone completa.

Na figura 3 apresenta-se a estrutura do sistema de fixação e as dimensões principais.

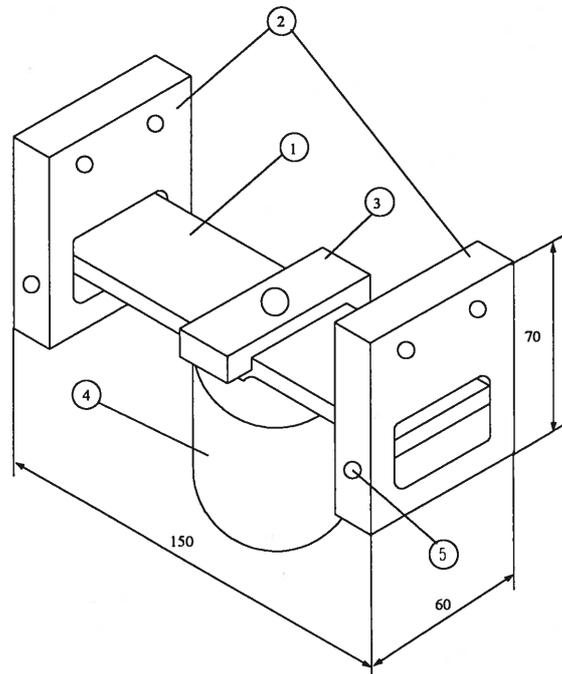


Fig. 3 - Sistema de fixação da célula de carga
1-Barra-célula; 2-Suporte da célula; 3-Barra de apoio;
4-Suporte do postigo; 5-Cutelo

A barra-célula é uma viga simplesmente apoiada nas extremidades, dimensionada para suportar uma força máxima de extracção de 5 kN. Na sua construção usou-se o aço AISI-P20 cujas propriedades principais constam tabela 1.

Tabela 1- Propriedades mecânicas do aço
AISI - P20

Propriedade	Valor
Condutividade térmica	29 J/m.s.°C
Módulo de elasticidade	200 GPa
Tensão de cedência	700 MPa

Após a maquinagem dos componentes da célula, procedeu-se à colagem dos extensómetros, TML FLA-3-350, na barra-célula (figura 2 b)), usando a cola de cianoacrilato recomendada pelo fabricante. Na figura 4 mostra-se a instrumentação básica para se fazer a aquisição de dados. Consiste em:

- sistema extensométrico
- circuito eléctrico
- multímetro Hameg HM8112-2, com uma precisão de leitura de $1\mu\text{V}$,
- fonte alimentação Thurlby Thandar PL310.

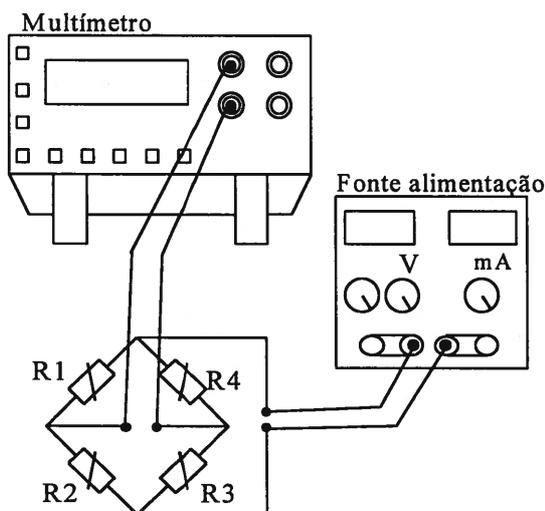


Fig. 4 - Sistema de aquisição de dados

1.2 Calibração da célula de carga

Na calibração da célula de carga, alimentada a 8 V, utilizou-se uma célula de carga padrão Sensotec de 5 kN, alimentada a 10 V, com classe de precisão 0. As duas células foram montadas em série. Foram feitas leituras a diferentes cargas, por suspensão de pesos, medindo-se as tensões eléctricas em cada

uma das células. Este procedimento foi repetido três vezes, calculando-se a média dos valores obtidos. Por regressão linear foi determinada a recta de calibração, que está representada na figura 5.

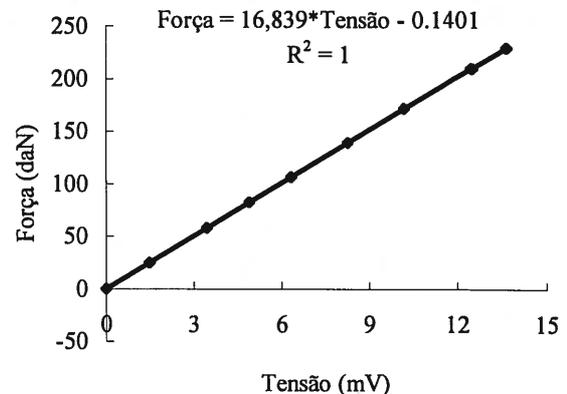


Fig. 5 - Recta de calibração da célula de carga

O erro máximo obtido nas três leituras foi de 0,5%, tendo sido obtido a partir do quociente entre a diferença da força real e calculada e a força real. A figura 6 apresenta a evolução dos erros obtidos para os vários pesos e diferentes leituras, podendo-se observar uma menor precisão para forças inferiores a 500 N, o que é normal neste tipo de sensores.

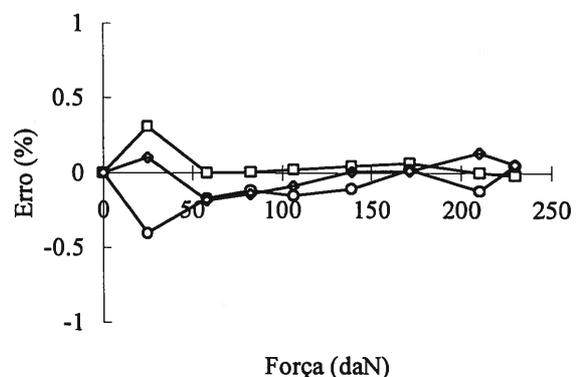


Fig. 6 - Evolução do erro obtido na célula de carga

2. APLICAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO

2.1 Equipamento de moldação

O sistema de medição de forças foi usado num molde de injeção para a produção de peças

tubulares com 1 mm de espessura, diâmetro exterior de 35 mm e comprimento de 120,5 mm. Por razões associadas ao processo de moldação por injeção, resultantes da contracção, o tubo tem uma conicidade de 1°. Para o programa experimental, o molde foi montado numa máquina de injeção Klöckner Ferromatic com capacidade de injeção de 32 cm³ e força de fecho de 20 kN. A temperatura do molde de injeção foi controlada com um termorregulador Klöckner Ferromatic Desma-T10EW403.

2.2 Material

O material usado no programa de moldação foi um poli(óxido de fenileno) modificado da General Electric Plastics, Noryl SE1-701. Módulo de flexão deste material é de 2,5 Gpa, a tensão de cedência é de 55 MPa e a temperatura de distorção a 1,8 MPa é de 125°C. É um material tipicamente aplicado em componentes para as indústrias automóvel e eléctrica.

2.3 Programa de moldação

O programa de moldação a que correspondem os dados experimentais adiante referidos visa avaliar a influência do grau de rugosidade nas forças de extracção e das condições de processamento na contracção, sendo um dos programas de investigação em curso no Centro de Engenharia de Polímeros da Universidade do Minho.

Os resultados foram obtidos com uma bucha móvel cujo acabamento foi feito por torneamento conduzindo a uma rugosidade média 0.9 µm. Para a obtenção das peças foram considerados os seguintes parâmetros de processamento:

- temperatura de injeção (T_{inj}),
- segunda pressão (p_2) ou pressão pós-injeção,
- tempo de arrefecimento (t_{arref}).

Foram usados 15 conjuntos de condições - experiências - (T_{inj} , p_2 , t_{arref}) sumariados na Tabela 3.

Tabela 3- Plano de experiências

Experiência n°	T_{inj} (°C)	p_2 (MPa)	t_{arref} (s)
1-5	270-310	40-80	6
6-10	270-310	40-80	10
11-15	270-310	40-80	2

Entre cada experiência rejeitaram-se 15 moldações para se atingir a estabilização do processo. Em cada experiência foi medida a força de extracção em 7 moldações consecutivas.

2.4 Resultados experimentais

Em cada experiência a força de extracção foi estatisticamente caracterizada pela média, desvio padrão e erro, calculado a partir do quociente entre o desvio padrão e a média, expressa em percentagem.

Na figura 7 apresentam-se, como exemplo, resultados experimentais obtidos no conjunto de experiências com tempo de arrefecimento de 2 s, podendo observar-se a sensibilidade da célula de carga ao efeito das condições de processamento.

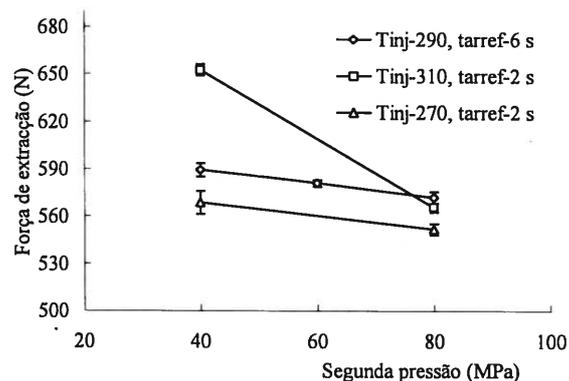


Fig. 7 - Forças de extracção medidas para t_{arref} de 2 s e 6 s

A fim de estender a aplicabilidade dos resultados experimentais, a força de extracção

(resposta) pode ser ajustada ao seguinte modelo matemático:

$$F_E = b_0 + \sum_{i=1}^3 b_i x_i + \sum_{i=1}^3 b_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 b_{ij} x_i x_j \quad (1)$$

onde

F_E - previsão da força de extracção,

b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} - coeficientes do modelo

$x_i, \text{ ou } x_j$ - parâmetros de processamento.

O ajuste dos dados experimentais ao modelo não-linear foi efectuado com o programa C-COMPTM, que utiliza o método dos mínimos quadrados. O modelo foi usado para descrever graficamente a relação parâmetro de processamento/resposta. Na figura 8 apresentam-se, como exemplo, as previsões para a evolução da força de extracção em condições de processamento a que corresponda o tempo de arrefecimento de 2 s.

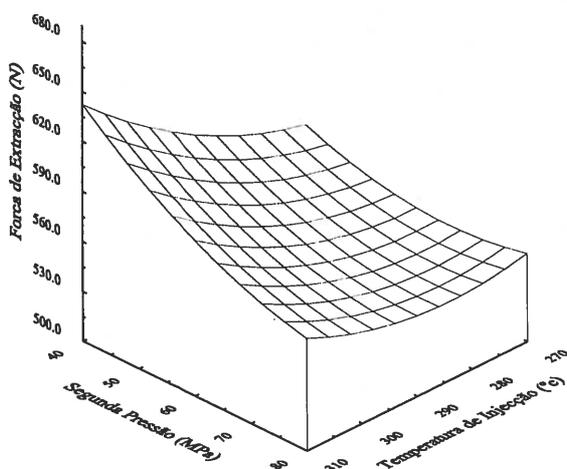


Fig. 8 - Forças de extracção para $t_{\text{arref.}} = 2$ s

3. CONCLUSÕES

A utilização de uma célula de carga baseada no método da extensometria mostrou ser eficiente para a medição de forças de extracção num molde de injecção.

A célula de carga utilizou uma ponte de Wheatstone completa, que apresenta a vantagem de ser auto compensada.

As medições feitas com a célula de carga são sensíveis às pequenas variações introduzidas nas peças moldadas pelas condições de processamento.

A célula de carga tem uma configuração compacta perfeitamente ajustável ao espaço limitado e de difícil acesso no molde de injecção.

4. BIBLIOGRAFIA

- Burke, C. e Malloy, R., "An experimental study of the ejection forces encountered during injection molding", SPE Annual Technical Conference, 1991.
- Hoffmann, K., "An introduction to measurements using strain gages", Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, 1989.
- Isayev, A. I. , "Orientation, Residual Stresses e Volumetric Effects in Injection Molding", ch.3, in Isayev, A. I. (ed.), Injection and Compression Molding Fundamentals, Marcel Dekker, New York, 1987.
- Juvinall, R. C., "Stress, Strain and Strength", Ed. McGraw-Hill, 1967.
- Menges, G. e Bangert, H., "Measurement of coefficients of static friction as means of determining opening and demoulding forces in injection moulds", Kunststoffe, 71, 1981.
- Menges, G. e Mohren, P. , "How to Make Injection Molds", Hanser, N.Y., 1986
- Morris, A. S. "Principles of Measurement and Instrumentation", Prentice Hall, 1993.
- Pye, R.G.W., "Injection Mould Design", 4th ed, Longman, Harlow, 1989.
- Timoshenko, S. P., "Mechanics of Materials", 3^a Ed., Ed. Pws-Kent, 1990.